

IDENTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA SOLAR PARA GARANTIZAR LA DEMANDA RESIDENCIAL DE CLIMATIZACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA

Luis Alberto GARCÍA MONTI

Delegación Territorial de AEMET en Aragón

RESUMEN: Una significativa parte del consumo de la energía de la sociedad se requiere para atender el consumo residencial. Esta demanda continúa hoy en día, satisfaciéndose principalmente por el uso de combustibles fósiles. Dado el desafío que supone el cambio climático y las cuestiones que versan sobre la seguridad energética y la dependencia por importación de combustibles fósiles, se presentan en este trabajo datos alentadores para apostar por un cambio en los patrones de generación, propiciando el autoconsumo de energía en las viviendas.

Este estudio presenta un modelado de la energía en las viviendas basado en el manejo de la información sobre datos geográficos desagregados, describiendo los diferentes potenciales de energía solar global sobre la superficie de las viviendas en Europa.

El balance espacial y temporal es la base de este planteamiento, lo que permite identificar los recursos de energía solar necesarios para satisfacer las demandas energéticas residenciales, por unidad geográfica, a una resolución de un kilómetro cuadrado, con el empleo de los sistemas de información geográfica (GIS).

Teniendo en cuenta su relevancia espacial y temporal, todos los datos están asignados a la misma resolución espacial, y separados estacionalmente. Estos incluyen los potenciales de energía solar teórica, como también la demanda real estacional de energía para uso residencial, en los países integrantes de la Unión Europea.

El modelo propuesto se enmarca dentro de un enfoque que consta de tres partes:

- El modelo potencial: estima el potencial teórico de energía solar estacional, para el aprovechamiento residencial, en base a los metros cuadrados disponibles por kilómetro cuadrado.*
- El modelo de demanda: ilustra la demanda de energía estacional de uso residencial, por habitante, para obtener un valor de consumo por kilómetro cuadrado, con el empleo de la variable densidad de población.*
- Balances energéticos: creados para conocer estacionalmente el superávit o déficit de energía, por unidad geográfica, en la resolución de un kilómetro cuadrado.*

Los resultados obtenidos, propician un cambio de la matriz de generación eléctrica para atender el sector residencial, y ofrecen información estratégica para los grupos de interés.

Palabras clave: energía, consumo energético, energía solar, energías renovables, eficiencia energética, balance energético.

1. EL AUTOCONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Una significativa parte del consumo de energía de la sociedad se requiere para atender la demanda residencial. En este trabajo se presentan los resultados del potencial solar en las viviendas, basado en el manejo de la información sobre datos geográficos desagregados, describiendo los diferentes potenciales de energía solar global sobre la superficie de las viviendas en Europa.

El balance espacial y temporal es la base de este planteamiento, lo que permite identificar los recursos de energía solar necesarios para satisfacer las demandas energéticas residenciales, por unidad geográfica, a una resolución de un kilómetro cuadrado, utilizando sistemas de información geográfica (GIS).

La opción del autoconsumo energético por aprovechamiento de la radiación solar directa sobre las viviendas, puede ser una realidad viable en todo el espacio europeo. Para los países del sur, en concreto los ubicados en el Mediterráneo, la autosuficiencia energética residencial podría garantizarse con la tecnología existente en el momento actual.

Los resultados obtenidos propician un cambio de la matriz de generación eléctrica para atender el sector residencial, y ofrecen información estratégica para los grupos de interés.

2. DESAFÍOS Y TOMA DE DECISIONES

Entre los grandes desafíos del siglo XXI se encuentra la necesidad de reducir las emisiones de los gases causantes del efecto invernadero, con objeto de evitar las consecuencias más adversas del cambio climático. En este contexto, el suministro energético juega un papel fundamental en el desarrollo económico y social, garantizando la calidad de vida y propiciando beneficios a las zonas rurales.

La opción más utilizada en los planes de electrificación de zonas alejadas de las áreas urbanas ha sido la extensión de la red existente, conectando asentamientos en orden creciente según los costes de inversión y su rentabilidad. Sin embargo, la elevada inversión necesaria, fruto de las grandes distancias que separan los asentamientos, ha sido descartada en muchas ocasiones, al presentar un patrón disperso y una escasa demanda. En estos casos parece lógico que se tenga en consideración la implantación de los sistemas autónomos, como es el caso de la instalación de generadores diésel, caracterizados por un alto grado de fiabilidad y una relativamente baja inversión inicial, aunque con el inconveniente uso de combustibles fósiles. El reemplazo de estos por los nuevos sistemas de generación eléctrica basados en energías renovables aparece como una opción de gran interés, tanto desde el punto de vista de su adecuación, como de la independencia energética y la reducción de la contaminación atmosférica.

A pesar del avance tecnológico y del mayor conocimiento de los recursos renovables, la elección en cada caso del sistema más adecuado presenta una gran dificultad, puesto que requiere contemplar multitud de aspectos relativos a las peculiaridades del área. Resulta lógico pensar que cuanto más se adapte el sistema de generación elegido a la realidad de la zona geográfica en la que se implanta, mayor será su eficiencia, rentabilidad y perdurabilidad en el tiempo (BERTARELLI, LARA y JACOB, 2009).

Inherente al proceso de evaluación, comparación y decisión en los planes de electrificación o de acceso a este recurso es el hecho de manejar información en diferentes formatos y de diversa naturaleza, que permita obtener una imagen completa de la situación existente en las regiones de estudio. El procedimiento incluye por tanto tareas orientadas a la preparación y el análisis de los datos, para que sean compatibles y válidos.

3. LOS GIS Y SU APLICACIÓN EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Un uso eficiente y la conciencia medioambiental en el suministro de energía son esenciales para una provisión sostenible de mercancías y servicios.

Además, los efectos producidos por las emisiones de CO₂ en relación al calentamiento global y al desafío de cumplir con las obligaciones de reducir la proliferación de estos gases precursores del efecto invernadero en el planeta, hace que sea preciso abordar el problema en su totalidad, siendo dos las claves en los procesos de toma de decisión de un futuro sistema energético: la sostenibilidad y seguridad de suministro.

Para reducir los riesgos de dependencia energética, cuando estos provengan de países con situaciones políticas inestables, será necesario satisfacer la demanda a las escalas más pequeñas con recursos energéticos locales o regionales, reuniendo y centralizando toda la información geográfica.

La estimación del potencial de los recursos de energía renovable y la demanda de energía están basadas en datos y métodos geográficos con una elevada resolución espacial, que admite una correcta segmentación en los procesos de modelado. Especialmente para el caso de aquellas energías renovables que tienen como objetivo propiciar al autoconsumo energético a pequeña escala, que requieren de un modelado espacial que permita identificar localmente la fuente y los flujos de energía.

Básicamente existe una única fuente de energía renovable en la tierra: el Sol. El poder que tiene de irradiar sobre la Tierra está estimado en 1 559 280 TWh (teravatio-hora) en un año, lo cual es aproximadamente 15 000 veces más que la energía consumida (en la actualidad) en todo el planeta, en ese periodo, incluso en los momentos de máxima demanda.

La funcionalidad del GIS facilita la integración de los datos de topografía y de radiación global, a fin de estimar el potencial solar para una determinada región de interés.

Para disponer de una estimación del potencial teórico de captura solar en el edificio bastará con incorporar al cálculo la superficie disponible para llevar a cabo la instalación en la zona de estudio. Sin embargo, es tal la potencialidad del GIS que puede gestionar la información aumentando la resolución, a fin de alcanzar el nivel de detalle acorde con los requerimientos de diseño y la tecnología a emplear, para con mayor precisión determinar cada superficie disponible.

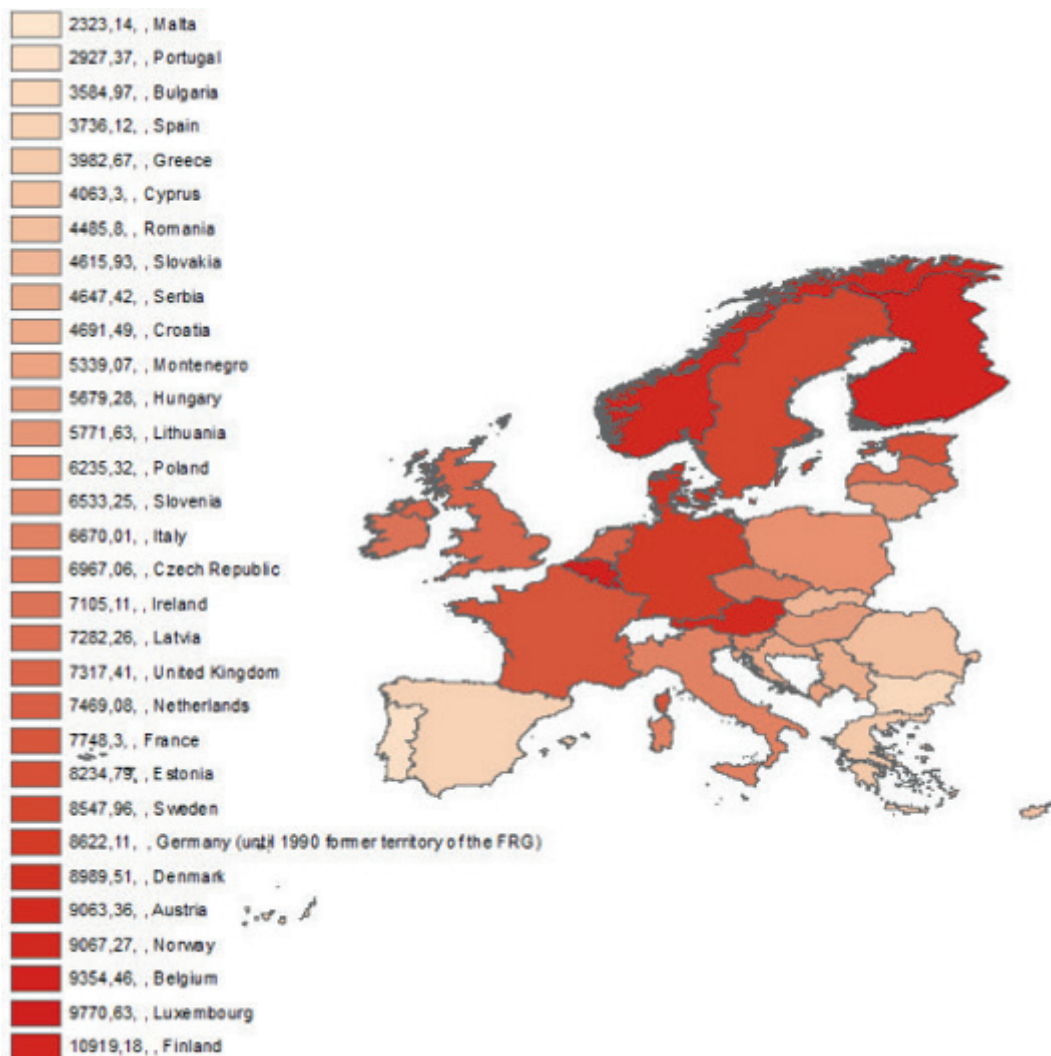
El soporte GIS para estudio del equilibrio local entre captura y demanda, dada su escalabilidad y potencial gráfico, constituye una herramienta de gran calado en la búsqueda de la independencia energética, y facilita la construcción de modelos que relacionen disponibilidad con demanda energética, para optimizar posibles regiones autosuficientes en el contexto de un suministro de energía renovable.

4. EL CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL

El consumo energético residencial “per cápita”, a escala global, está muy lejos de ser homogéneo, y la comparación de las cifras a nivel europeo permite constatar claras diferencias entre los países del norte y los países sur y del este (figura 1).

El centro de Europa, conjuntamente con países escandinavos, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, con una población próxima al 50 % del total correspondiente a los 28 países de la Unión Europea, consume prácticamente el 65 % de las formas avanzadas de energía (electricidad o combustibles sólidos y gaseosos).

Por consiguiente el 35 % restante total de energía suministrada se reparte en la otra mitad de la población que conforma la Unión Europea. Esto obedece a dos factores



*Figura 1. Consumo energético residencial por habitante en kWh (kilovatio hora).
(Datos Eurostat. Promedios de los años 2009-2013).*

fácilmente identificables, uno de ellos es el clima que disminuye las necesidades de consumo energético, principalmente para la calefacción, en los países del Mediterráneo, y el otro el desarrollo económico, que se refleja en el acceso al consumo en los países del este europeo.

5. TIPOS DE VIVIENDAS

La vivienda es esencial para cubrir las necesidades básicas del ser humano, como la necesidad de abrigo, siendo el sitio para dormir y descansar, en el que las personas se sientan protegidas y gocen de privacidad y un espacio personal; en pocas palabras, un lugar donde puedan crear y desarrollarse.

Al analizar el tema de la vivienda y vincularlo al consumo energético residencial es importante estudiar las condiciones de vida, como el promedio de habitaciones compartidas por persona, y si las viviendas tienen acceso a servicios básicos. Aunque de todos estos aspectos, aquellos ligados a la forma y tipo de materiales empleados en la construcción de la vivienda, adquieren especial importancia para obtener un balance energético más eficiente.

En 2013, el 40 % de los habitantes de la Unión Europea vivían en pisos, una cuarta parte (25,6 %) en casas adosadas y algo más de una tercera parte (33,7 %) en viviendas unifamiliares aisladas. Asimismo, estos porcentajes alcanzan su máximo por tipo de vivienda según se indica en la tabla 1.

% PISOS	% ADOSADOS	% UNIFAMILIARES
66,6 — ESPAÑA	61,2 — PAÍSES BAJOS	72,6 — CROACIA
65,1 — LETONIA	60,0 — REINO UNIDO	65,4 — ESLOVENIA
63,8 — ESTONIA	58,3 — IRLANDA	63,0 — HUNGRÍA
		62,4 — NORUEGA
		60,5 — SERBIA

Tabla 1. Países con mayores porcentajes según el tipo de vivienda (Datos Eurostat, 2013).

Es importante conocer la distribución de la vivienda dependiendo de su ubicación, según su proximidad o lejanía a los centros urbanos, pues de ello dependerá el espacio disponible o una mayor accesibilidad al concebir espacios residenciales autosuficientes energéticamente al menor costo posible.

En el año 2012, el tamaño medio de la vivienda en la Unión Europa era de 95,9 m² (*Manual for statistics on energy consumption in households*, Eurostat). La superficie media útil de una vivienda varía desde 44,6 m² en Rumania, 62,5 m² en Letonia y 63,2 m² en Lituania, hasta 141,4 m² en Chipre. Por otro lado, el hogar promedio dispone de 1,8 habitaciones por persona (OCDE, 2016).

El tamaño del hogar, expresado como el número de miembros del hogar, es una variable con repercusión significativa en el consumo energético, y alcanzó en 2013 en Europa la media de 2,7 personas/hogar, lo cual implica que cada habitante ocupa un promedio de 40 m² construidos, para usos residenciales.

6. DEMANDA ESTACIONAL

A diferencia del consumo eléctrico, en la demanda de gas la primera característica a observar es la estacionalidad que presenta su consumo en toda la Unión Europea (EUROSTAT, 2013). Se infiere analizando las series temporales para cada país, que constituye un excelente indicador de los consumos residenciales estacionales. El gas es el recurso energético principalmente utilizado para producir calor destinado a calefacción y al calentamiento del agua sanitaria.

Hay que señalar que sobre estas tendencias aparece un perfil anual estacional de consumo correspondiente a cada país europeo, dependiendo de su zona climática.

Este estudio aporta datos reales de consumo energético residencial mensual y por país, para un periodo de cinco años (figura 2).

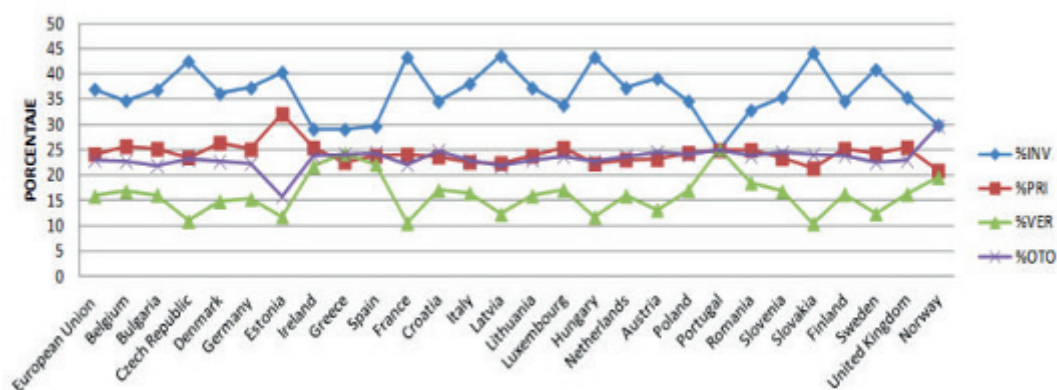


Figura 2. Consumos residenciales estacionales en kWh/m² siendo: INV: Invierno; PRI: Primavera; VER: Verano; OTO: Otoño. (Promedios de los años 2009-2013).

7. LOS DATOS DE RADIACIÓN GLOBAL EMPLEADOS

Un reanálisis del clima da una descripción numérica del clima reciente, producido por la combinación de los modelos climáticos utilizando observaciones en la atmósfera. ERA-Interim proporciona un conjunto de datos que muestran los resultados de un reanálisis climático global, desde 1979 hasta la fecha. Contiene estimaciones de parámetros atmosféricos tales como temperatura del aire, presión y viento, a diferentes altitudes, y parámetros de superficie tales como lluvia, humedad del suelo, radiación global y temperatura de la superficie del mar. Las estimaciones se calculan para todos los lugares en la tierra, y abarcan un largo periodo de tiempo, que puede extenderse hacia atrás por décadas.

En el caso de la irradiación ERA-Interim utiliza 1370 W/m² como valor de la constante solar en la capa exterior de la atmósfera, es decir, que no se tienen en cuenta las fluctuaciones de la energía emitida por el Sol (las oscilaciones producidas por el ciclo de las manchas solares son inferiores a 1 W/m²). Las variaciones debidas a la distancia variable entre la Tierra y el Sol se incorporan como se describe en PALTRIDGE y PLATT (1976).

La documentación explicativa del sistema de reanálisis es de libre disposición (DEE y otros, 2011).

8. EL MODELO PROPUESTO

El modelo espacial-temporal propuesto para el estudio del equilibrio y la optimización del uso de fuentes renovables en la demanda energética residencial muestra:

- Un modelo de potencial teórico de energía solar reducido, por aplicación del criterio de metros cuadrados útiles disponibles para su aprovechamiento en el uso residencial.
- La demanda real estacional de energía de uso residencial.
- Los balances estacionales de energía.

Conociendo los flujos de energía, a partir de los datos de irradiación global en todo el continente europeo, se obtienen los valores acumulados estacionales de radiación global en superficie, que corresponden al potencial teórico. En las figuras 3 y 4, se representan los valores de irradiación en invierno y verano, respectivamente.

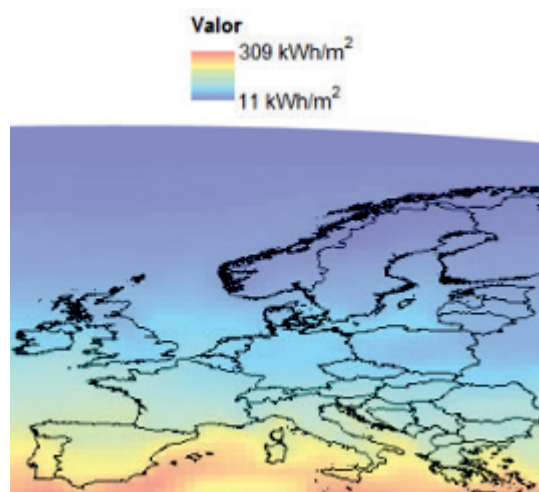


Figura 3. Irradiación global en superficie (invierno) en kWh/m².

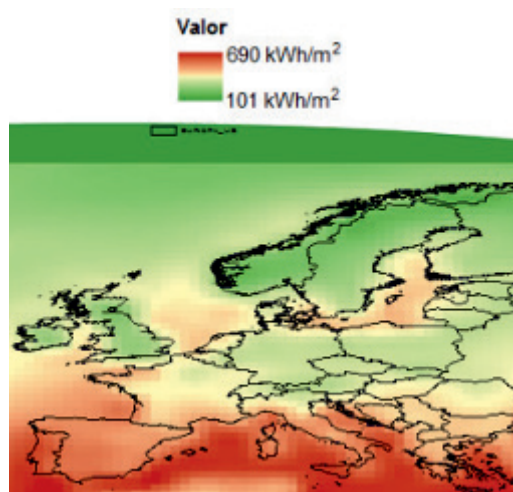


Figura 4. Irradiación global en superficie (verano) en kWh/m².

9. IRRADIACIÓN GLOBAL SOBRE LA SUPERFICIE DE USO RESIDENCIAL

Parece evidente que la densidad de población, ligada al uso de energía, constituye un factor clave para definir los consumos residenciales. La densidad de población es el factor que determina en gran medida la demanda local, vinculada al consumo de recursos, en la actualidad mayoritariamente de origen fósil (BROOKFIELD, 1975). Así, la acumulación de personas en una cierta zona intensifica las causas y los efectos del cambio climático, aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La población se presenta como un gran consumidor de recursos, con tendencias de crecimiento positivo en los entornos urbanos, principalmente por el aumento de los estándares de vida, que obligan a dotar a los sectores residenciales con más cantidad y calidad de servicios, aumentando así la demanda energética.

Para el cálculo del potencial teórico reducido, se emplea el concepto de energía disponible de uso residencial, como la irradiación global en superficie, directa más difusa, que puede ser utilizada para atender la demanda residencial, y captada en las instalaciones residenciales existentes (viviendas) o en otras de uso terciario (edificaciones de uso general próximas a las viviendas), dentro de un mismo hábitat en donde coincide espacialmente el consumo y la generación de energía.

La energía incidente en la vivienda se puede estimar como la radiación recibida por metro cuadrado horizontal, multiplicada por el número de habitantes de cada vivienda y por el número de metros cuadrados disponible para cada habitante, que corresponde al potencial teórico acumulado estacional, en unidades kWh/km² (BIBERACHER, GADOCHA y

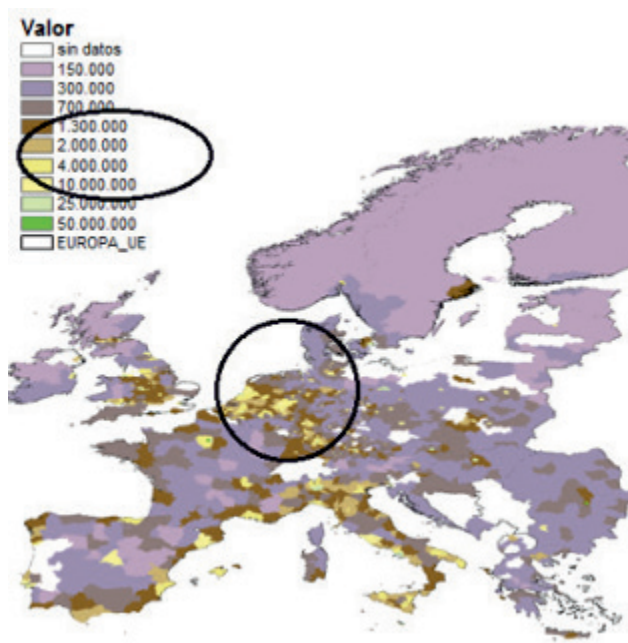


Figura 5. Metros cuadrados de captación solar de uso residencial por kilómetro cuadrado. Invierno.

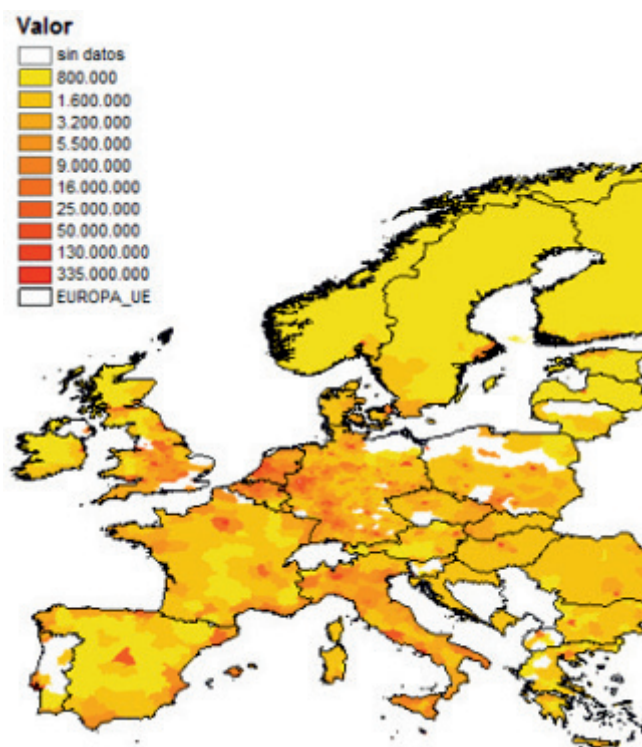


Figura 6. Metros cuadrados de captación solar de uso residencial por kilómetro cuadrado. Verano.

ZOCHER, 2008). Este estudio utiliza la estimación de 40 m²/habitante, de uso residencial, obteniendo como resultado el potencial teórico reducido.

El objetivo es realizar un análisis del balance energético en cada región europea y al caso de estudio elegido, es decir, relacionar potencial global solar teórico, reducido al caso residencial, con el consumo. Así, el reto consiste en determinar la captura de origen solar, buscando que los metros disponibles por habitante indiquen la posibilidad o no, de alcanzar el autoconsumo energético residencial. En las figuras 5 y 6, se muestran los valores obtenidos para las estaciones de invierno y verano.

10. CONSUMOS RESIDENCIALES

Los datos de consumo energético no están desagregados regionalmente, puesto que son accesibles a escala nacional por lo que es necesario utilizar un valor medio por habitante y país. Asimismo, los consumos están relacionados con la densidad de población, pues a mayor densidad de población mayor consumo por unidad de área. La resolución espacial elegida es de un kilómetro cuadrado y la temporal una estación del año.

En las figuras 7 y 8, se identifican los consumos en las estaciones de invierno y verano por km².

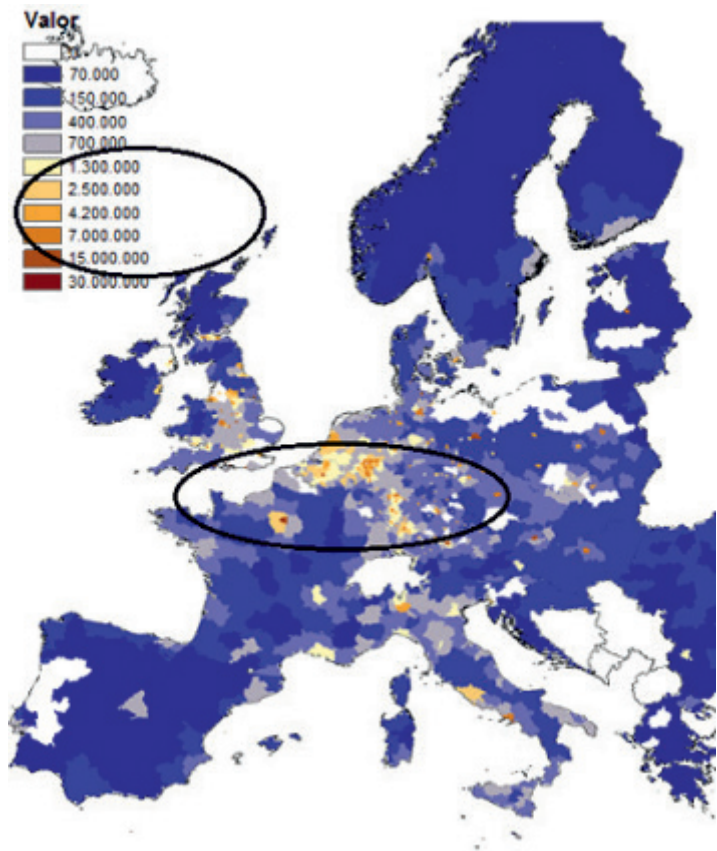


Figura 7. Consumos residenciales por kilómetro cuadrado en invierno (kWh/km²).

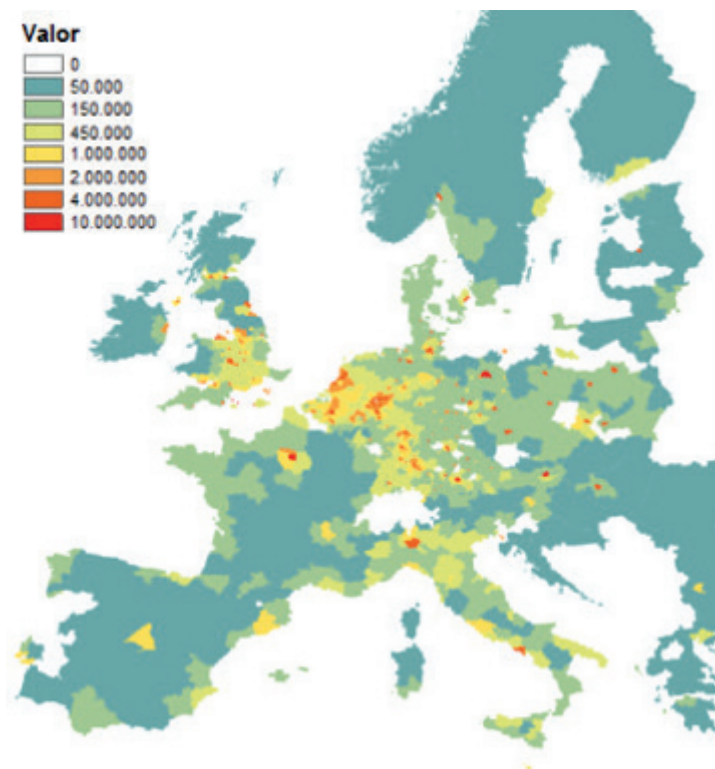


Figura 8. Consumos residenciales por kilómetro cuadrado en verano (kWh/km²).

El procedimiento diseñado para la elaboración de los mapas de consumo residencial utiliza los valores de consumo medio por habitante, estación y país. Con el uso de la metodología GIS se obtienen los valores de consumo residencial por kilómetro cuadrado, como el producto entre los valores de densidad de población y los consumos medios, representándose los resultados en mapas de consumo medio por kilómetro cuadrado.

11. BALANCES DE ENERGÍA. DISPONIBILIDAD Y DEMANDA

La metodología empleada relaciona la disponibilidad de energía frente a la demanda, para obtener los balances de energía residencial. Este método permite visualizar las áreas más propicias para llevar a cabo proyectos de autoconsumo, basado en GIS, pues permite integrar y analizar la información de forma espacial y temporal.

La relación entre la energía útil y el consumo, corresponde a la definición de balance energético (B), variable utilizada para el cálculo de los balances estacionales:

$$B = \text{ENERGÍA ÚTIL (superficie de captación)} / \text{ENERGÍA CONSUMIDA (demanda real)}$$

Conviene resaltar que los datos de densidad de población son valores medios correspondientes a la unidad administrativa en la que se divide cada Estado miembro de la Unión Europea, similar a una demarcación provincial en España, con lo cual todas las unidades geográficas tienen asignado un valor poblacional. Cuando el dato poblacional no existe a nivel provincial se excluyen todas las áreas o unidades geográficas que la conforman.

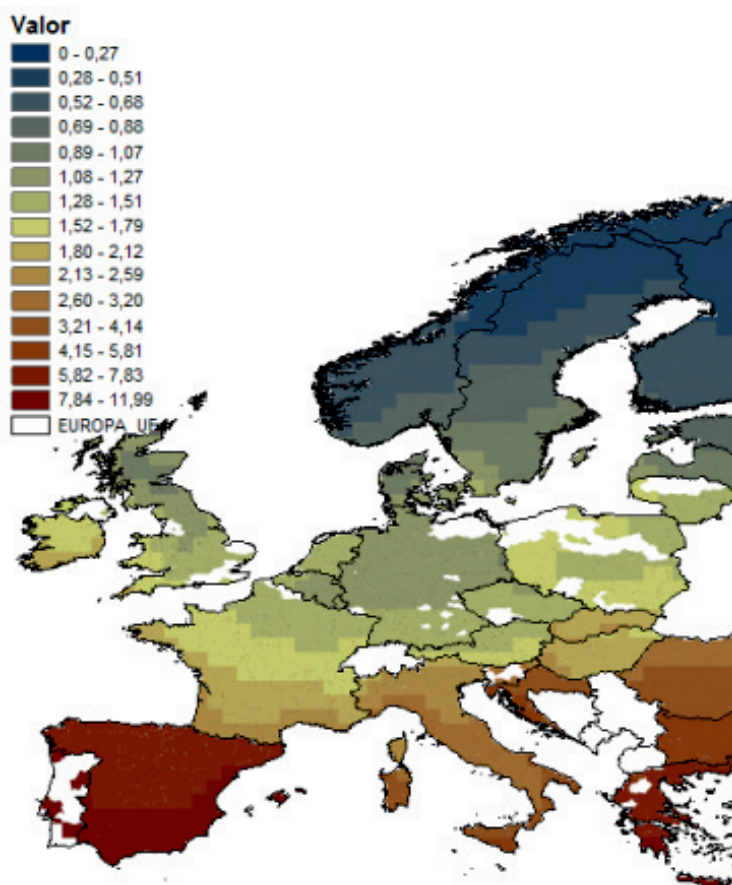


Figura 9. Balance energético. Invierno. Ratios de déficit o exceso energía para atender la demanda energética residencial.

En invierno (figura 9), donde las necesidades energéticas son bastante mayores que los recursos solares, los valores del balance energético son menores a 1 en todo el tercio norte del continente europeo. En esta estación el equilibrio y superávit, entre el potencial solar teórico reducido y la demanda, se distingue en la parte central de Europa, con valores superiores a la unidad.

Los balances de energía estacionales de primavera y otoño muestran valores del balance energético superiores a 1 en la casi totalidad del territorio, excepto para regiones que alcancen el límite norte de Europa, perteneciente a los países escandinavos, con balances inferiores a 1. En verano (figura 10), como era de esperar, se observan los mejores ratios de superávit de energía, garantizando la autosuficiencia energética en las viviendas a escala continental.

Estos balances de energía son el resultado de la utilización del modelo potencial teórico reducido, en base a un valor medio de captación de radiación global en superficie de 40 m² por habitante y a la demanda real. Por ello, cualquier variación en los metros útiles aprovechables, para la generación de energía de uso residencial, modificará los valores del balance energético.

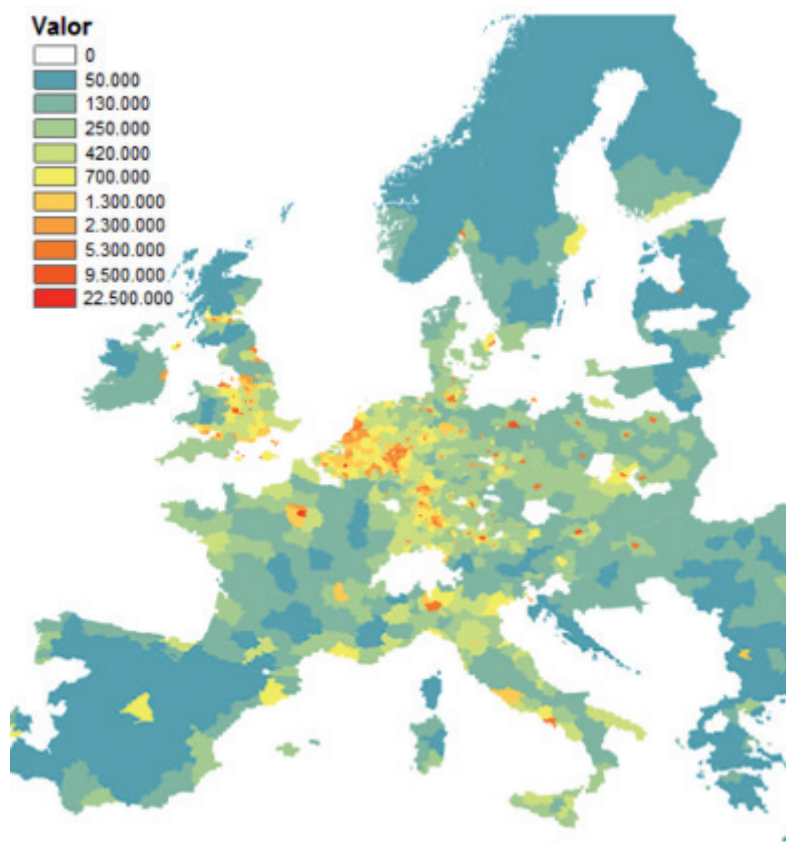


Figura 10. Balance energético. Verano. Ratios de déficit o exceso energía para atender la demanda energética residencial.

CONCLUSIONES

La demanda real de energía por habitante en cada región está condicionada por los siguientes factores:

1. La zona climática, relacionada con su latitud, altitud sobre el nivel del mar y proximidad o lejanía a las áreas marítimas.
2. La accesibilidad de los ocupantes a la energía y la forma de satisfacerla en función al grado urbano.
3. El nivel de vida de la población, ligado al tipo de vivienda.

La energía solar incidente a lo largo del año sobre los edificios garantiza, a escala continental, la satisfacción de la demanda solo durante el verano. Desde la zona central de Europa y hacia el sur, cubriendo toda el área mediterránea, las posibilidades de autosuficiencia se presentan favorables, en todas las estaciones del año.

Igualmente, habría que tener en cuenta las directivas de la Unión Europea relativas a eficiencia energética (Parlamento Europeo, 2012), dado que su puesta en marcha aumentaría los valores del balance entre disponibilidad y necesidad de energía, al proponer el cambio

a una economía más eficiente en el consumo de energía. Ello, a su vez propiciará la difusión de soluciones tecnológicas innovadoras y una mejora de la competitividad de la industria en la Unión Europea, impulsando el crecimiento y creando empleos de alta calidad, en sectores relacionados con la eficiencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTARELLI, LARA y JACOB, A. (2009). Rural electrification planning tools and methodologies, Nairobi, Kenia. Grupo de Agencias y Estructuras Africanas a cargo de la Electrificación Rural. (Club-ER).
- BIBERACHER, M., GADOCHA, S. y ZOCHER, D. (2008). GIS based Model to optimize possible self sustaining regions in the context of a renewable energy supply.
- BROOKFIELD, H. C. (1975). Interdependent Development (London: Methuen).
- COMISIÓN EUROPEA, Oficina de estadística. Eurostat.
- DEE, D. P. y otros. (2011). The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, n.º 656, pp. 553-597, doi:10.1002/qj.828.
- EUROSTAT (2013). Comisión Europea. Manual for statistics on energy consumption in households. Luxembourg, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2016). Index Better Life. <http://www.oecd.org/>.
- PALTRIDGE G. W. y PLATT, C. M. R. (1976). Radiative processes in meteorology and climatology. (Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company).
- PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO (2012). Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 25 de octubre de 2012.